

· 争鸣与探索 ·

长三角区域空气质量预警联动系统及其在上海世博会的应用

陆涛

(上海市环境监测中心, 上海 200030)

摘要: 为保障上海世博会空气质量, 开发了长三角区域空气质量预警联动系统。系统由区域数据共享、预报预警、信息发布和应急联动等 4 个子系统构成, 采用自动质量控制检查、多模式集合预报、秸秆焚烧火点判定、预警联动机制研究、GIS 自动化处理和表达等关键技术。在上海世博会期间, 实时监控和预测了长三角区域空气质量状况和变化趋势, 发布了 5 次大气污染预警, 相应启动应急联动措施, 为跨行政区解决区域性空气污染提供了实践。

关键词: 空气质量; 预警联动; 多模式集合预报; 长三角区域; 上海世博会

中图分类号: X84 文献标识码: B 文章编号: 1006-2009(2011)05-0068-06

Regional Air Quality Early Warning and Joint Action System in Yangtze River Delta for Shanghai Expo

LU Tao

(Shanghai Environmental Monitoring Centre, Shanghai 200030, China)

Abstract: The air quality early warning and action system in Yangtze River Delta was developed to guarantee air quality during the World Expo 2010 Shanghai China. The system was composed of four subsystems including sharing, regional air quality data air quality forecast and early warning, information publication as well as emergency action. The key functions, including automatic QC check, multi-model ensemble air quality forecast system, fire point decision of straw burning, research for early warning action mechanism and GIS automatic express, had been introduced. During Shanghai Expo, the system had monitored the real-time air quality in Yangtze River Delta and forecasted the changes of air quality in the next several days scientifically. Five times of successful forecasting and actions on pollution days effectively reduced the pollution level during the short term within 48 hours, which provided the technical basis for air quality guarantee of Shanghai Expo. The implementation of this system also provided a useful practice to solve regional air pollution problems.

Key words: Air quality; Early warning and joint action; Multi-model ensemble forecast; Yangtze River Delta; Shanghai Expo

长江三角洲地区是我国经济总量规模最大, 经济发展速度最快, 最具发展潜力的经济圈, 同时人口密集、能源消耗和污染排放强度高、区域性复合型大气污染较为突出^[1-3]。上海自身排放的大气污染物在影响该区域环境的同时, 其空气质量也受区域污染源的影响^[3-5]。在当前区域复合型大气污染十分突出的环境条件下^[5], 为了确保上海世博会环境空气质量优良, 除通过自身努力实施一系列保障措施外, 有必要开展区域联合行动。

由上海市环保局牵头, 组织江浙沪 9 个重点城

市的环境监测部门, 率先开展了长三角区域空气质量联动监测, 在此基础上开发了上海世博会长三角区域空气质量预警联动系统, 实现了监测数据和信息共享。上海世博会期间, 长三角区域空气质量联动系统详实、动态地反映了上海及周边地区空气质

收稿日期: 2011-06-30; 修订日期: 2011-08-04

基金项目: 上海市环保科研项目基金资助项目(沪环科 2010-03)

作者简介: 陆涛(1974—), 男, 河南永城人, 工程师, 硕士, 从事环境监测与信息技术、大气污染研究工作。

量状况,成功预测了多次污染过程并及时启动了应急联动措施。

1 概况

1.1 上海世博会同期的大气状况

经过历年环境综合治理,上海市环境空气质量得到了持续的改善。自 2005 年起,上海市空气质量优良率连续 6 年在 85% 以上。上海世博会期间(2010 年的 5 月 1 日—10 月 31 日)气象条件相对有利于污染物扩散,但仍然面临 4 种大气污染类型的威胁。

(1) 北方沙尘造成颗粒物污染。

(2) 5 月底、6 月初夏收季节,秸秆燃烧易造成区域性细颗粒物和灰霾污染。

(3) 7 月—9 月气温较高,太阳辐射强,且空气中含有大量氮氧化物和碳氢化合物,造成臭氧浓度较高。

(4) 上海世博会闭幕期前后,北方冷空气南下造成污染气团积聚,区域空气质量普遍较差,持续时间较长。

2006 年—2009 年,与世博会同期上海市空气污染指数(API)值超过 100 的天数分别为 11 d、10 d、6 d 和 8 d。

1.2 系统目标

上海世博会历时 184 d,准确预测空气污染的发生和变化趋势,及时启动大气污染应急减排措施,以最低经济成本实现环保措施的社会协同利益,成为实施上海世博会环境空气质量保障有效措施的关键。

长三角区域空气质量预警联动系统的目标是:依托现有空气质量监测网络资源,建立区域联动监测网,实现监测数据共享,实时监控长三角区域空气质量。

在此基础上,开发与集成空气质量预报系统,科学预测空气污染的发生和变化趋势,并根据预测预报及时启动高污染预警和应急联动减排措施,达到保障上海世博会空气质量优良的目标。

2 系统设计和构成

2.1 系统框架设计

根据系统目标,将系统设计为区域数据共享、预报预警、预报和预警信息发布、应急联动 4 个部分,见图 1。

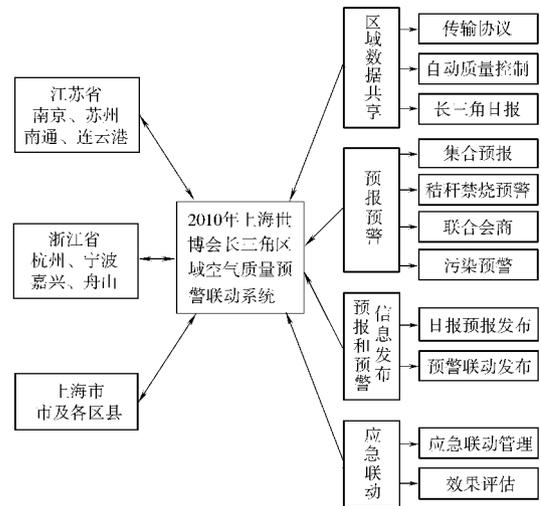


图 1 2010 年上海世博会长三角区域空气质量预警联动系统框架

Fig. 1 Structure of regional air quality early warning and joint action system in Yangtze River Delta for Shanghai Expo

长三角区域重点城市开展空气质量联动监测,实时共享数据,江、浙、沪通过预警联动系统可以访问预报预警、秸秆焚烧火点预警等信息,实现区域联合会商,在污染预警信息发布的条件下启动应急联动,改善空气质量。

2.2 系统开发环境

系统框架以 Microsoft .net framework 中的 C# 语言作为系统集成开发环境;选用微软大型关系数据库 SQL server 2005 为数据库平台,实现对监测数据共享和预报的海量数据进行管理和维护;使用 ArcGIS Server 9.2 套件中的 ArcEngine 作为 GIS 开发引擎。

集合预报系统是 CMAQ、WRF-Chem 等数值预报的集合,采用操作系统为 RedHat AS 4.5 编译器选取 PGI 和 Intel 2 种编译器,系统安装 Ncarg、NetCDF、GrADS 等模型所需的函数库和软件,由 C Shell 语言编写控制脚本完成集合预报的业务化和自动化任务。在秸秆禁烧预警中卫星遥感火点提取的环节使用了 IDL 语言。

2.3 系统构成

2.3.1 联动监测和区域数据共享子系统

上海世博会期间参加空气质量联动监测的重点城市有上海、南京、苏州、连云港、南通、杭州、宁波、嘉兴和舟山 9 个城市,共有 54 个监测站点。

联动监测项目包括 SO₂、NO₂、PM₁₀、PM_{2.5}、O₃、CO 污染物 6 项和黑炭、能见度、气象参数等辅助指标。根据统一的数据交换格式和传输方式,各联动监测城市及时共享小时数据。空间分布图是利用 GIS 技术将数据表达在空间上,给联动监测数据的实时监控更形象的表达,见图 2。

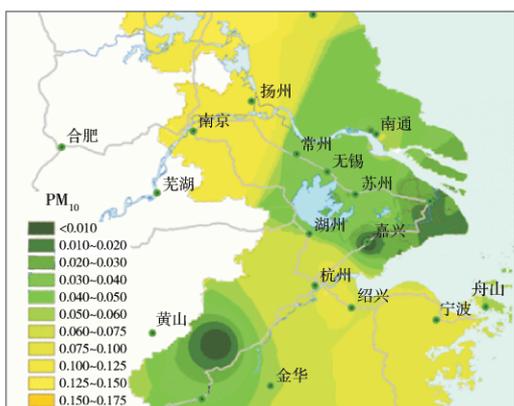


图 2 长三角区域 PM₁₀ 浓度空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of PM₁₀ in Yangtze River Delta

除了数据传输共享功能外,区域数据共享系统

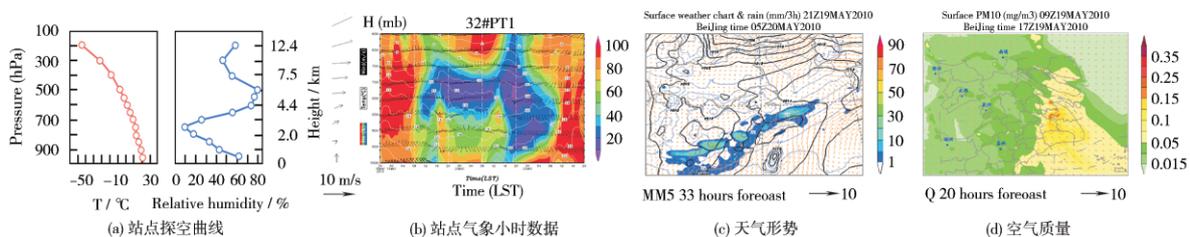


图 3 多模式集合预报系统输出产品

Fig. 3 Products of multi-model ensemble air quality forecast system

(2) 秸秆禁烧预警系统。系统用 MODIS 卫星遥感数据,基于火点像元亮温特征与背景亮温偏差提取长三角区域秸秆焚烧火点信息,用 GIS 空间分析技术根据土地利用图层判断火点是否落在农田类型范围内,对秸秆焚烧火点进一步甄别,生成长三角区域秸秆焚烧火点分布图和火点统计表。

(3) 自动报警系统。实时读取数据共享子系统的监测数据、集合预报系统的预报数据、秸秆禁烧预警系统中的秸秆焚烧火点信息,根据预设的污染预警判别标准进行自动报警。

(4) 联合会商系统。用户通过联合会商系统

还具有自动数据审核(质量控制 QC)、实时监控、长三角日报(包括常规日报、臭氧日报和细颗粒日报等)、空间分布图等功能。

参与联动监测和数据共享的重点城市具有对等的权限,均能实时查看长三角空气质量状况。自动数据审核通过最大/最小值、稳定值、变化率、相邻检查等规则实现数据的快速质量控制,减少了人力,提高了数据质量,并达到了快速共享数据发布的目的。

2.3.2 预报预警子系统

(1) 多模式集合预报系统。多模式集合预报系统集成国际先进的 CMAQ、WRF-Chem、CAMx 等开源空气质量模型外,还包括了中科院大气物理所研发的嵌套网格空气质量预报模式系统 (NAQPMS)。

采用相同的排放源、区域设置、网格划分和分辨率进行模拟计算,自动化生成多种数值产品供空气质量预报员参考,包括各区域高空及地面气象场、主要污染物质量浓度空间分布图、探空曲线等。同时,根据各监测站点的经纬度位置提取各站点的预报结果,存放于文本文件中,供其他子系统使用,见图 3(a)(b)(c)(d)。

可进行在线讨论和线下会商。在线讨论需通过即时通讯工具、E-mail 或电话等在事先约定时间,针对区域空气质量预报、污染预警、应急联动等方面网上在线会商。线下会商是任何一方针对问题发起议题,其他用户对该主题跟帖展开讨论,集中大家智慧进行区域空气质量预报和污染预警会商。

2.3.3 信息发布子系统

信息发布子系统集成的发布途径主要有网站、短信、传真、E-mail 等。基于区域共享数据、集合预报信息及联合会商小组共同商定,若后 24 h 或者 48 h 可能出现空气质量临界污染或中度污染情

况 形成污染预警信息 ,由管理部门审定后发布预警信息 根据分级预警信息方案采取相应应急联动措施。信息发布子系统每天还发布长三角日报、预报、专报等。

2.3.4 应急联动子系统

长三角区域联动方案中将大气污染预警分“黄色预警”和“红色预警”2 个级别,不同污染预警级别采用不同的应急措施和实施范围。应急联动子系统记录和管理应急联动中的预警信息、采取应急措施、应急效果等,建立应急联动数据库;查询、管理和维护应急联动人员、组织机构、专家组信息。

2.4 关键技术

2.4.1 自动质量控制检查

区域数据共享中大量监测数据的数据审核用人工难以完成,自动质量控制(Quality Control, QC,以下简称质控)检查可以快速对空气质量数据的有效性进行判断。质控检查方法主要包括最小/最大值、零漂移值、稳定值、变化率、以及相邻检查 6 种。系统根据规则自动对空气质量监测数据的异常情况进行判断,达到快速自动审核的目的。

2.4.2 多模式集合预报

多模式集合数值预报系统采用了目前国内外最为先进的第三代和第四代空气污染数值预报模式,包括嵌套网格空气质量预报模式系统(NAQPMS)^[6]、Model 3/CMAQ-4.4^[7]、Model 3/CMAQ-4.6、CAMx 和 WRF-Chem 共 5 套模式。各模式均采用相同的排放源,在高性能机群运行环境下,采用高性能并行集成的结构,低成本地实现了大容量高速度的计算,实现了业务系统高度自动化。5 套模式均采用相同的排放源、区域设置、网格数和分辨率进行模拟。

不同的模式具有各自特点,例如 CMAQ 是离线数据模式,而 WRF-Chem 则是在线模式。在相同的排放源、相同区域设定等条件下运行多个模式模拟预报空气质量有助于消除系统偏差^[8]。

2.4.3 秸秆焚烧火点判定

美国地球观测系统 EOS 上的 MODIS 载荷具有多光谱通道、灵敏度高,可以 1 天 4 次获得地球上同一地区对地观测数据,能够满足秸秆焚烧实时监测需求^[9]。根据斯蒂芬-波尔兹曼定律,黑体的全波长辐射能力与温度的 4 次方成正比,即黑体温度只要有很小的变化,就会引起辐射的强烈变化,而高温热源的温度更会引起辐射的急剧增

加,这种变化十分有利于判识高温热源^[10]。

MODIS 卫星数据经去云、去斑、大气校正等预处理后进入热异常点提取阶段,系统采用的算法主要是利用 4 μm 和 11 μm 通道的亮温进行识别。实践发现,秸秆焚烧点提取还需在热异常点的基础上使用 GIS 空间分析技术与区域土地利用图层进行匹配,落在农田等类型里的热异常点提取为秸秆焚烧点^[11],最后使用 GIS 工具制作长三角区域秸秆焚烧卫星遥感监测图,见图 4。



图 4 2010 年 5 月 30 日长三角区域秸秆焚烧卫星遥感监测

Fig. 4 Satellite-remote-sensing-based monitoring of straw burning on May 30th, 2010

2.4.4 预警联动机制研究

为了提出有效的长三角大气污染预警联动应急措施,采用 MM5/CMAQ 空气质量模式开展污染预警、应急联动措施的模拟和筛选,旨在为上海世博会空气质量保障提出技术依据。实施区域模拟分上海市措施、长三角区域措施和综合措施方案;情景定义包括零方案、工业源削减 30%、扬尘削减 30%、黄标车限行等。

模拟分析表明,道路扬尘控制和机动车污染控制对 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 的改善效果明显;单纯脱氮会造成 O_3 有所上升,只有大幅度控制重点行业的 VOCs 排放是减轻 O_3 污染的唯一途径;污染预警分“黄色预警”和“红色预警”两个级别,前者是指未来 24 h API 值 >90 并且 API 值 ≤ 110 的空气污染状

况,启动上海市预警联动相应措施,后者是指未来24 h API 值 >110 的空气污染紧急状况,启动长三角区域相应预警联动措施。

2.4.5 GIS 自动化处理和表达

采用 ARCGIS Server 9.3 作为 GIS 引擎进行空气质量地图自动化处理和表达。

(1) 自动化地图处理。系统通过向导方式使用户进行不同地图产品的自动化定制,能够产生的地图产品主要有浓度或 API 值空间分布图、GIF 动画、shapefile、GRID 文件(netCDF 格式)、KML 等,系统能够通过界面浏览监控任何一个地图产品在自动化过程中的状态。系统还能够通过管理(修改、替换)自动化过程中的各个环节中的程序来自定义插值等参数和方式。

(2) 空间浓度分布图时间轴插值。空间时间轴插值技术是在时间轴上生成时间分辨率更密的空间分布图,使得空间浓度分布图动画更平滑。数据库中监测数据为小时数据,经时间轴插值技术能得到 10 min、5 min、1 min 甚至更密的空间分布图。

3 系统应用

上海世博会期间,通过长三角区域空气质量预警联动系统共享 120 万余条数据、产生 199 份长三角日报和预报、发布 10 万余条日报预报短信、大约 2 000 个传真、区域会商 50 多次、在上海市及区域范围启动预警联动共 5 次,为上海世博会空气质量保障提供了坚实的技术支持。

3.1 日常业务应用

在区域共享数据的基础上,每天动态监控长三角区域空气质量小时变化情况,生成长三角空气质量日报,其中包括 API 日报、臭氧日报、细颗粒($PM_{2.5}$)日报等。在集合预报结果的基础上,分析未来区域空气质量趋势和动态变化,形成预报结果。上海市空气质量日报、24 h 和 48 h 预报均通过网站、传真、短信、E-mail 等方式发布方式向公众和相关人员公布。

3.2 预警联动应用

根据集合预报产品和联合会商结果,上海世博会期间共成功发布了 5 次污染预警,并启动了相应应急联动措施,见表 1。

表 1 2010 年上海世博会期间 5 次污染预警联动情况
Table 1 Air pollution early warning and joint actions list during Shanghai Expo

序号	日期	污染预警	污染原因
1	5月1日	粗颗粒污染	沙尘回流
2	5月20日	细颗粒污染	不利气象条件、本地排放
3	8月4日	臭氧污染	太阳辐射强、VOC 浓度高
4	10月16日	区域性污染	静稳气象条件
5	10月30日	区域复合污染	冷锋前区域输送

3.2.1 预警联动

以 5 月 20 日污染日为例说明长三角区域空气质量预警联动系统在区域预警联动中的应用。

5 月 19 日,预报预警子系统中多模式集合预报结果显示 5 个数值预报模式有 3 个预报 20 日 API 值将会超过 100,其他 2 个模式也预测临界污染。经过联合会商,综合预报 20 日 API 值为 103。

19 日当天发布黄色预警信号,根据黄色预警相应要求在上海市范围内启动应急联动措施。应急减排措施主要有:电厂减排、锅炉和炉窑减排、建筑工地扬尘污染控制、道路保洁等。

3.2.2 效果评估

(1) SO_2 排放量削减明显。大气污染源在线监测数据显示,2010 年的 5 月 19 日 19:00—5 月 20 日 18:00 全市电厂 SO_2 排放量为 54.6 t,较 2010 年的 5 月 18 日 21:00—5 月 19 日 20:00 排放量 68.5 t 下降 20.4%。

(2) SO_2 质量浓度持续下降、空气质量好转。2010 年 5 月 19 日 13:00, SO_2 小时质量浓度持续下降;19 日 17:00 起, PM_{10} 小时质量浓度急剧下降,空气质量开始明显好转。气象条件方面,自 19 日凌晨至 20 日上午风速均不大,维持在约 1 m/s,风向从 18 日下午至 19 日 17:00 均为西北和偏北风,容易造成污染物积聚,不利于扩散, PM_{10} 和 NO_2 质量浓度不断上升。

从 19 日 18:00 开始风向由西北风顺转为东南风,风速逐渐增强,海上吹来清洁空气的不断补充加快了污染物的扩散。因此,除预警联动措施起到一定作用外,气象条件的变化也是 5 月 20 日空气质量好转的重要因素。上海世博会园区内的自动监测站数据见图 5(a)(b)。

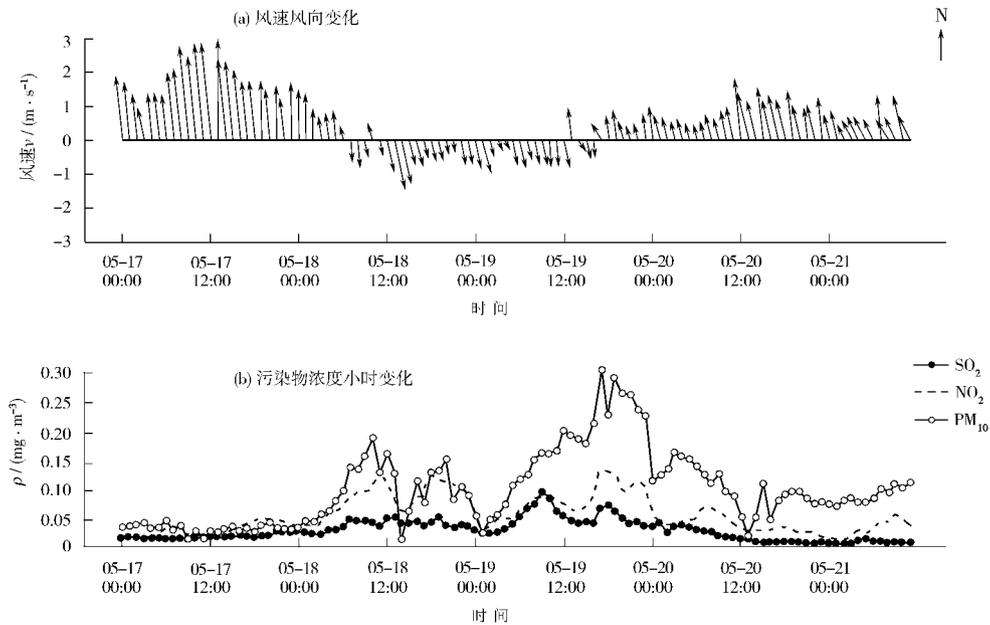


图 5 2010 年的 5 月 17 日—5 月 21 日风速和 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 小时质量浓度值变化

Fig. 5 Hourly variation of PM_{10} , SO_2 , NO_2 concentration and wind from May, 17th to May, 21th in the year 2010

4 结语

(1) 上海世博会期间面临北方沙尘、秸秆焚烧、臭氧污染、冷锋过境等 4 种类型大气污染, 在区域复合型大气污染十分突出的环境条件下, 为了确保环境空气质量, 有必要开展区域联合行动。

(2) 上海世博会长三角区域空气质量预警联动系统成功开展了区域数据共享、预报预警、联合会商、预警联动等工作, 为空气质量保障提供了坚实的技术基础; 同时, 也是一次长三角跨行政区解决区域性空气污染问题的初步实践, 具有实际借鉴意义。

(3) 建立和发展区域空气质量预报预警和应急联动系统, 需要进一步解决以下关键问题: ①区域排放清单需要进一步细化; ②多模式集成预报需要不断发展; ③联合会商制度和人才队伍的建设应进一步深化; ④应急联动机制有待健全。

【参考文献】

- [1] 李莉, 陈长虹, 黄成, 等. 长江三角洲地区大气 O_3 和 PM_{10} 的区域污染特征模拟[J]. 环境科学, 2008, 29(1): 237-245.
- [2] 李旭文, 牛志春, 王经顺, 等. 遥感影像反演区域能见度及其与地面空气质量监测数据一致性研究[J]. 环境监测管理与技术, 2011, 23(1): 20-27.
- [3] WANG T, CHEUNG V T F, ANSON M, et al. Ozone and re-

lated gaseous pollutants in the boundary layer of eastern China: overview of the recent measurements at a rural site [J]. Geophysical Research Letters, 2001, 28(12): 2373-2376.

- [4] FU Q Y, ZHUANG G, WANG J, et al. Mechanism of formation of the heaviest pollution episode ever recorded in the Yangtze River Delta, China [J]. Atmospheric Environment, 2008, 42(9): 2023-2036.
- [5] 高健, 王韬, 柴发合, 等. 长江三角洲大气颗粒物生成—成长过程的研究[J]. 中国环境科学, 2010, 30(7): 931-940.
- [6] 王自发, 谢付莹, 王喜全, 等. 嵌套网格空气质量预报模式系统的发展与应用[J]. 大气科学, 2006, 30(5): 778-790.
- [7] DENNIS R L, BYUN D W, NOVAK J H, et al. The next generation of integrated air quality modeling: EPA's models3 [J]. Atmospheric Environment, 1996, 30(12): 1925-1938.
- [8] 吴其重, 王自发, 徐文帅, 等. 多模式模拟评估奥运会期间可吸入颗粒物减排效果[J]. 环境科学学报, 2010, 30(9): 1739-1748.
- [9] 李文峰, 刘博文, 李小凯, 等. 3S 技术在许昌秸秆焚烧工作中的应用[J]. 中国农学通报, 2010, 26(23): 305-309.
- [10] 张树誉, 李登科, 景毅刚. “3S”技术在关中地区秸秆焚烧遥感监测中的应用[J]. 环境监测管理与技术, 2005, 17(2): 17-20.
- [11] 厉青, 张丽娟, 吴传庆, 等. 基于卫星遥感的秸秆焚烧监测及对空气质量影响分析[J]. 生态与农村环境学报, 2009, 25(1): 32-37.